

ИССЛЕДОВАНИЯ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА В КОЛОННОМ РЕКТОРЕ АГРЕГАТА СЭР

П.А. Сеченов, В.П. Цымбал

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»
(г. Новокузнецк, Россия)

Рассматриваются результаты исследования на имитационной модели гравитационного сепаратора в колонном струйно-эмульсионном реакторе. Показан пример программной реализации имитационной модели гравитационного сепаратора СЭР. Приведены графики: соотношение «приход–расход» по времени; эпюры скоростей; распределение средней скорости и плотности по высоте канала; средних масс конденсированных частиц по высоте реактора; приведены данные о влиянии начальной скорости и крупности частиц на среднее время пребывания частиц шлака, железа, и распределение плотности по высоте канала.

Ключевые слова: имитационная модель, гравитационный сепаратор, струйно-эмульсионный реактор, исследование характеристик.

The article discusses the results of research on the simulation model of the gravity separator in the column jet-emulsion reactor. Shows an example of a software implementation, the simulation model of the gravitational separator JER. Mapped graphics: «coming-consumption» in time; velocity profile at different times; distribution of the average velocity and density adjustment channel; distribution of intermediate mass condensed particles height of the reactor; table shows the influence of the initial speed and the particle size to the average residence time of the slag particles, iron, and the density distribution of the channel height.

Keywords: simulation model, a gravity separator, jet-emulsion reactor, study characteristics.

Цель работы – исследования параметров на имитационной модели гравитационного сепаратора в колонном ректоре агрегата СЭР [1, 2]. Ранее в статьях [3, 4] были рассмотрены постановка задачи создания имитационной модели гравитационного сепаратора и алгоритмическая реализация данной модели.

На рис. 1 представлен фрагмент работы созданной имитационной модели, а также графическое представление результатов моделирования.

Наряду с дифференциацией результатов движения и взаимодействия частиц отображаются: информация об общем количестве частиц в реакторе, количество частиц железной руды, углерода, шлака, железа, CO , CO_2 ; средние массы за минуту железной руды, шлака и железа; процентное отношение массы железа, шлака к массе железной руды; время работы реактора; среднее содержание углерода в копильнике; среднее время пребывания частиц шлака и железа в колонном реакторе; разница между приходом и расходом. Также выводятся графики масс компонентов частиц; секундные массовые составы железной руды, шлака и железа; газов CO и CO_2 ; распределение плотностей и скоростей конденсированных частиц по высоте реактора; эпюры средних скоростей на заданных слоях по высоте.

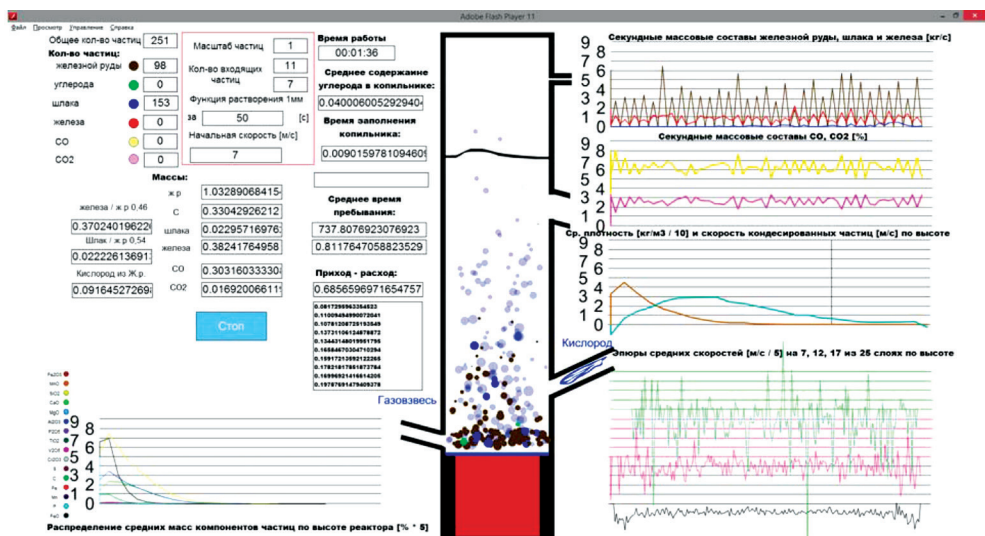


Рис. 1. Пример реализации имитационной модели гравитационного сепаратора типа СЭР

Предусмотрена возможность изменения коэффициента крупности частиц, количества подаваемых частиц железной руды и углерода, времени растворения средней частицы и скорости потока газа.

Тестирование показало работоспособность данного алгоритма и удовлетворительное совпадение конечных результатов имитационного моделирования с законом сохранения вещества (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что после запуска агрегата, и до 180 с, разница между приходом и расходом увеличивается, колонный реактор заполняется, после чего идет постепенное снижение разницы между приходом и расходом.

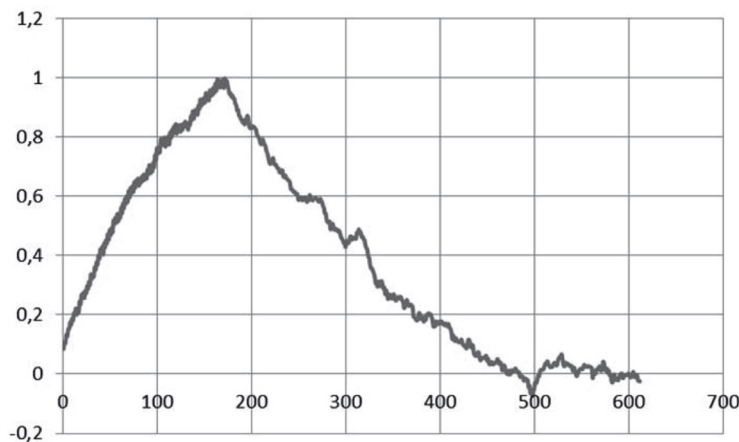


Рис. 2. Изменение соотношения массового «приход–расхода» во время переходного процесса

Это связано с расплавлением частиц железной руды и разделением на более легкие частицы шлака, которые поднимаются вверх и вылетают в шлакоприемник, и тяжелые частицы железной руды, которые оседают в копильник.

Графики эпюр средних скоростей (рис. 3) показывают, что со временем идет накопление статистических данных по скоростям для заданного слоя по высоте (на 25 мин графики более сглаженные, чем на 3 и 1 мин). Также из

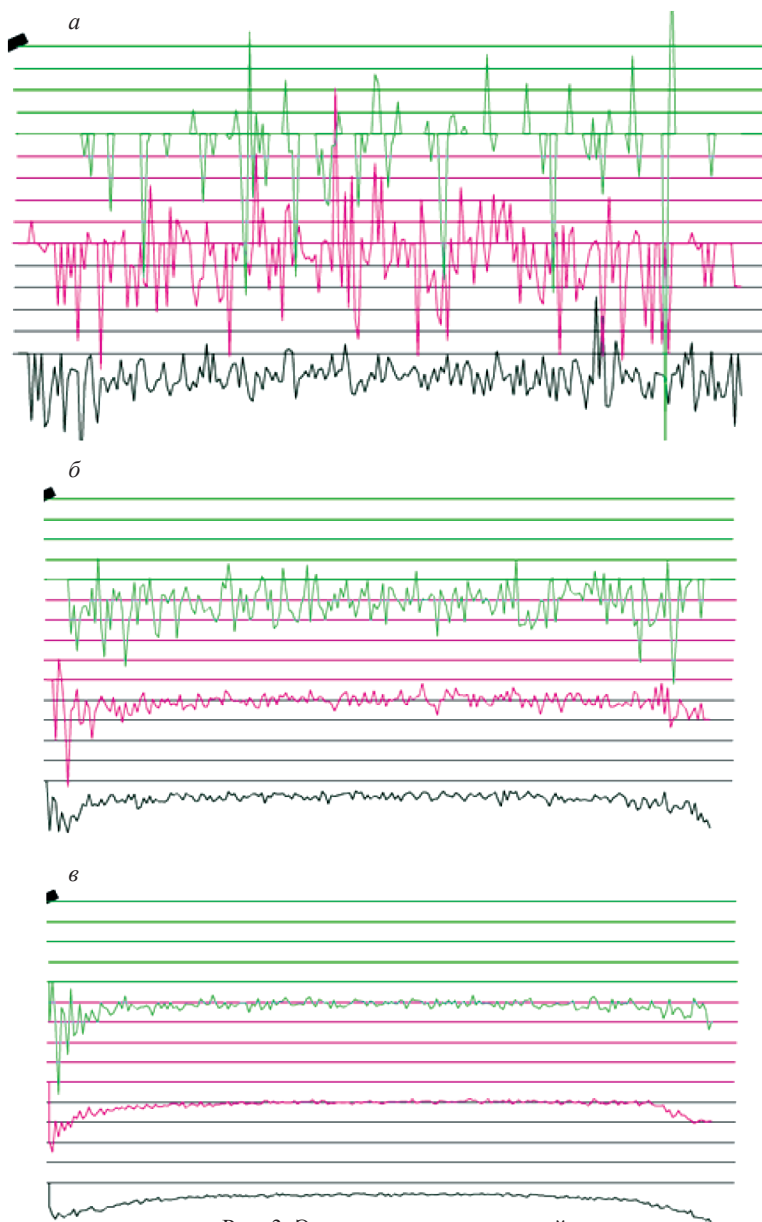


Рис. 3. Эпюры средних скоростей:
а – через 1, б – 3, в – 25 мин

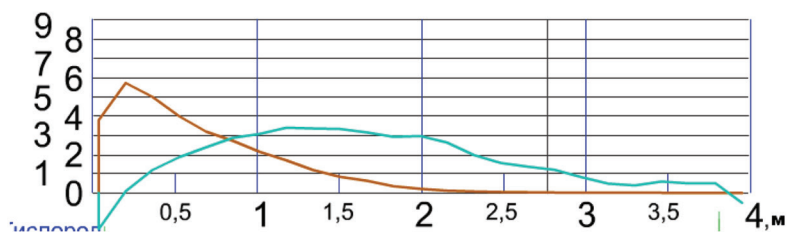


Рис. 4. Средняя плотность и скорость конденсированных частиц по высоте

рис. 3 видно, что наиболее сглаженным является нижний график, это связано с тем, что плотность конденсированных частиц в нижних слоях реактора больше, чем в верхних слоях, что также показано на рис. 4.

На рис. 5 показано распределение средних масс конденсированных частиц по высоте реактора через 1 и 10 мин. Из графиков рис. 5 можно сделать вывод, что на 1 мин в реакторе преобладают частицы железной руды, а на 10 мин, когда уже произошла стабилизация режима, преобладают частицы шлака, в которых преобладает содержание SiO_2 .

Рассмотрим влияние скорости потока газа (рис. 6). В табл. 1 приведены показатели, на которые существенное влияние оказала начальная скорость потока.

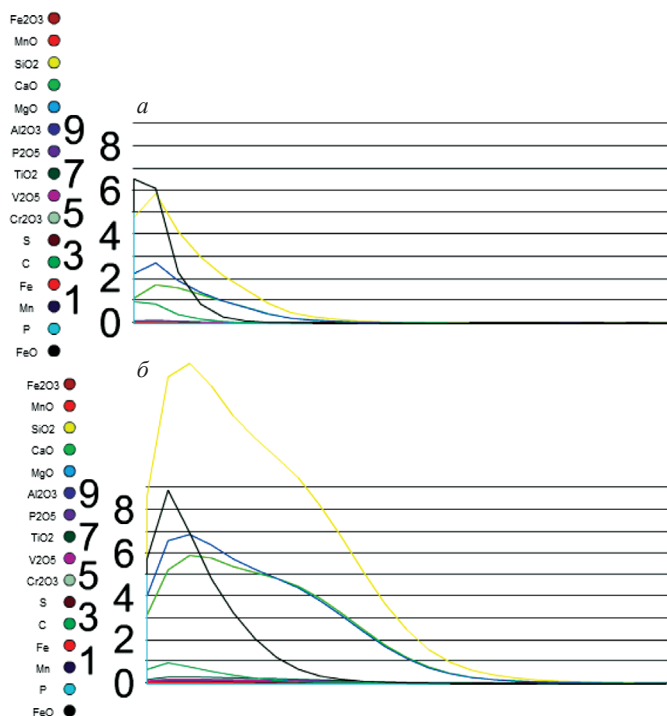


Рис. 5. Распределение средних масс конденсированных частиц по высоте реактора:
а — через 1; б — через 10 мин

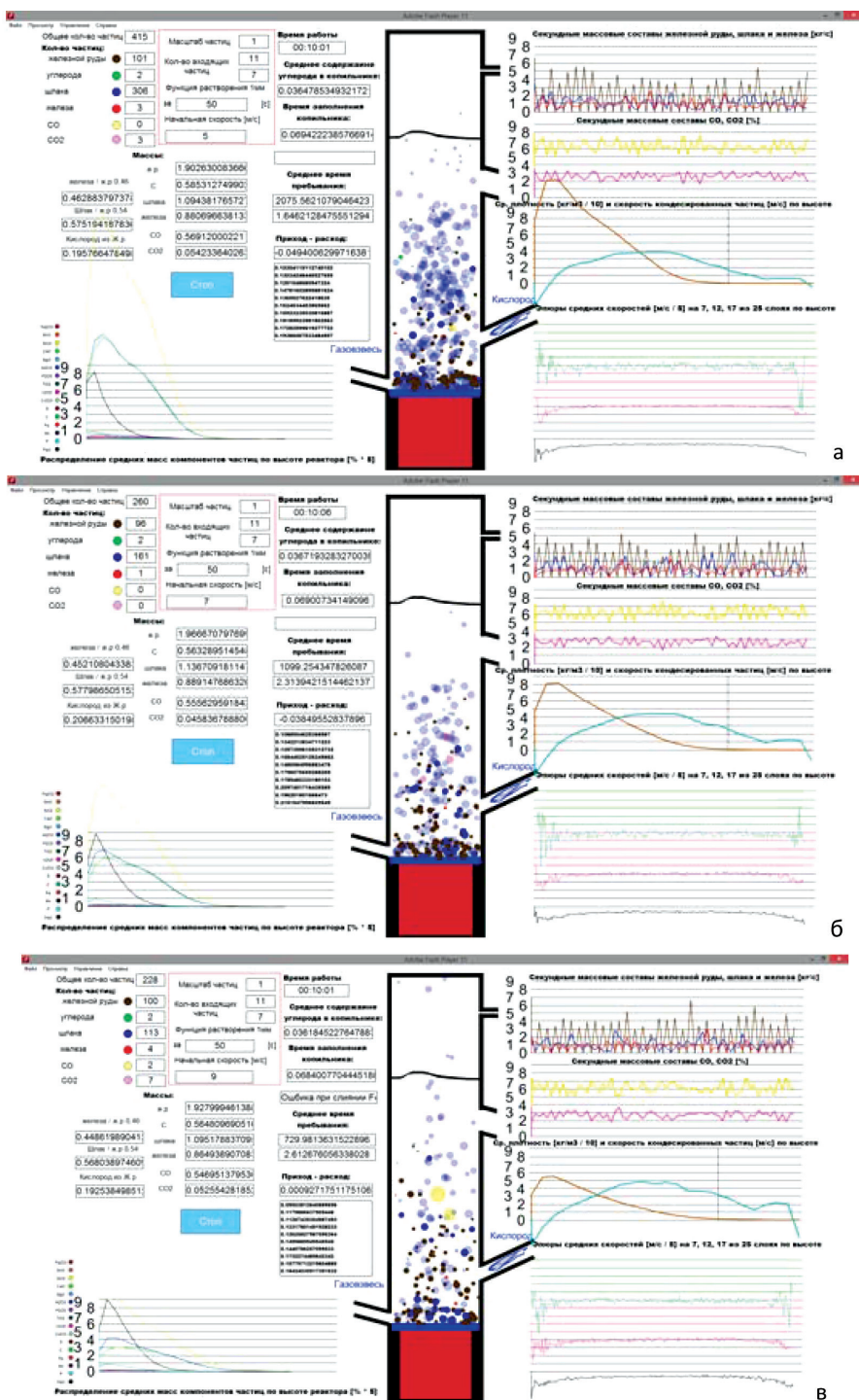


Рис. 6. Начальная скорость, м/с: а – 5, б – 7, в – 9

Таблица 1

Влияние начальной скорости потока

Показатели в 10 мин / Начальная скорость, м/с	Общее кол-во частиц	Среднее время пребывания шлака, с	Среднее время пребывания железа, с	Максимальная плотность по высоте канала, кг/м ³
5	415	2075,5	1,64	130
6	309	1467	1,9	105
7	260	1099	2,31	80
8	224	889,5	2,41	68
9	228	730	2,61	55

Как видно из табл. 1, при увеличении скорости потока уменьшается общее количество частиц в реакторе, время пребывания частиц шлака и плотность по высоте канала, а время пребывания частиц железа уменьшается. Из сравнения рис. 6, а–в, видно, что по мере увеличения начальной скорости газа плотность дисперсных частиц в объеме реактора уменьшается, можно также оценить удобство и наглядность визуализации представленного графического интерфейса.

Рассмотрим влияние крупности конденсированных частиц на среднее время пребывания частиц шлака, железа и максимальную плотность по высоте канала.

Как видно из табл. 2, чем меньше крупность частиц железной руды, тем больше общее количество частиц в реакторе и среднее время пребывания частиц железа, но меньше среднее время пребывания частиц шлака. Плотность по высоте канала остается постоянной.

Таблица 2

Влияние крупности частиц

Показатели в 10 мин / Крупность частиц, мм	Общее кол-во частиц	Среднее время пребывания шлака, с	Среднее время пребывания железа, с	Максимальная плотность по высоте канала, кг/м ³
0,9	330	966	2.32	79
1,0	260	1099	2.31	80
1,1	252	1475	1.88	81
1,2	205	1681	1.69	82
1,3	193	1824	1.64	83
1,4	178	2112	1.35	80
1,5	155	2329	1.13	80

Таким образом, созданная имитационная модель, являющаяся в определенной степени заместителем объекта, позволяет наглядно изучать механизм процессов в гравитационном сепараторе при разном гранулометрическом составе, оценивать среднее время пребывания частиц, определять средний расход частиц железа и шлака, при различном заданном количестве частиц углерода, а также проводить разного рода статистические исследования по проверке гипотез о внутреннем механизме протекающих процессов. Эта возможность, представляемая моделью – заместителем объекта, является наиболее интересной и важной.

Список использованных источников

1. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Рыбенко И.А. и др. Процесс СЭР – металлургический струйно-эмульсионный реактор / Под ред. В.П. Цымбала. – М.: Металлургиздат, 2014. – 488 с.
2. V. P. Tsybal, S. P. Mochalov, K. M. Shakirov. Controlling the Composition of the Metal in the Direct Reduction of Dust-Sized Materials and Waste Products in a Jet-Emulsion Reactor. *Springer Journals*, 2015, Vol. 59, pp. 119–125, available at: link.springer.com/article/10.1007/s11015-015-0070-0.
3. Сеченов П.А., Цымбал В.П. Алгоритмическая и программная реализация имитационной модели гравитационного сепаратора в колонном реакторе агрегата СЭР. *Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве*. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 112–117.
4. Сеченов П.А., Цымбал В.П. Постановка задачи создания имитационной модели гравитационного сепаратора в колонном реакторе агрегата СЭР. *Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве*. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 117–121.